Beitrag

zur

Lehre von der Sehsphäre.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt der

hohen medizinischen Fakultät

der

kgl. Friedrich-Alexanders-Universität zu Erlangen

im Juli 1890

von

Johann Dingfelder

aus Lipprichhausen.

WÜRZBURG.

Buchdruckerei der „Neuen Bayerischen Landeszeitung".

1895.

140

Seinem lieben Onkel

Herrn kgl. Forstmeister F. Körber

in Lemberg (Rheinpfalz)

in Hochachtung gewidmet.

Unter den vielen Rätseln, welche die Lehre von den Verrichtungen des Grosshirns noch immer darbietet, ist wohl eines der merkwürdigsten die Erfahrung, dass nach Verwundungen, die mit erheblichem Verlust an Hirnmasse verbunden waren, oft gleichwohl keine dauernden Störungen zurückbleiben sollen. Um diese Thatsache zu erklären, lehrt bekanntlich Flourens, dass die ganze Masse des Gehirns in allen Teilen denselben Funktionen dient, und dass daher nach Ausfall eines Teiles dessen Funktionen sehr wohl von denjenigen Abschnitten stellvertretend übernommen werden können, welche unversehrt geblieben sind. Ja, dieser Beobachter ging so weit, zu behaupten, dass, wenn man das Grosshirn bei einem Tiere bis auf einen kleinen Rest ausrotte, dieser Bruchteil noch im Stande sei, vollständig die Rolle auszufüllen, welche bis dahin dem ganzen Grosshirn zufiel. Nach Flourens sollte also jeder beliebige Teil des Grosshirns in seinen Funktionen ersetzbar sein auch jeder beliebige andere Teil desselben Organismus. Diese Lehre hatte nicht nur unter den Physiologen, sondern auch unter den Aerzten zahlreiche Anhänger. Und doch führte gerade die klinische und pathologisch-anotomische Erfahrung zuerst zu Beobachtungen und Thatsachen, welche sich offenbar mit dieser Anschauung

nicht vereinigen liessen. Vor allem waren es die anatomischen Befunde bei der Aphasie, welche mit Notwendigkeit zu der Localisation eines centralen Symptomes an einer bestimmten Stelle des Gehirns hindrängten und die 1861 veröffentlichte Broca'sche Entdeckung, dass das Auftreten jener eigentümlichen Sprachstörung stets an die Läsion der dritten linken Stirnwindung gebunden sei, ist der Ausgangspunkt für die ganze Lehre von den Gehirnlocalisationen geworden. Neun Jahre später (1870) erschien die berühmte Abhandlung von Fritsch und Hitzig, in welcher zum erstenmale durch gelungene Reizversuche an der Gehirnoberfläche von Tieren die frühere Ansicht über die Unerregbarkeit der grauen Gehirnrinde widerlegt wurde. Es zeigte sich, dass man durch Reizung gewisser Stellen der Gehirnrinde Muskelzuckungen in ganz bestimmten Abschnitten der gegenüberliegenden Körperhälfte erzielen könne, und dass man somit eine Anzahl von relativ eng umgrenzten Rindencentren anzunehmen berechtigt sei. Diese Ergebnisse fanden sehr bald zahlreiche bestätigende Erfahrungen in der Gehirnpathologie des Menschen, so dass unsere Kenntnisse über die motorischen Verrichtungen der Gehirnrinde heute den verhältnismässig bestgekannten Teil in der Lehre von den Gehirnlocalisationen bilden.

Hitzig also schreibt den verschiedenen Teilen des Grosshirns räumlich fest abgegrenzte Funktionen zu, und hält es demgemäss für unmöglich, dass ein Teil des Gehirns nach seiner Vernichtung etwa ersetzt werden könnte durch einen anderen Abschnitt, dem ganz andere Funktionen bereits zugewiesen sind. In allen den Fällen also, in welchem nach Substanzverlust des Grosshirns eine vollständige Herstellung erfolgt, sei anzunehmen, dass die betreffenden räumlich umgrenzten

Centren nicht vollständig, sondern nur teilweise zerstört seien. Der zurückgebliebene Rest erstarkt allmählich, und könne dann dasselbe leisten, wie das unbeschädigte Centrum. Nach Hitzig würde demnach nur innerhalb gewisser kleiner Abschnitte von gleichartiger Funktion eine Stellvertretung der einzelnen Teile für einander möglich sein. Von Hermann wurde Hitzig vorgehalten, dass diese schnelle Herstellung der Funktionen nach Verletzungen des Grosshirnes sich trotz solcher Aushilfe mit Hitzigs theorntischen Ansichten nicht vereinigen lasse. Hitzig ist der Ansicht, es müssten sich die Physiologen nur einmal an die den Pathologen längst bekannten Erfahrungen über auffällig schnelle Restitution verloren gegangener centraler Funktionen gewöhnen, eine Erklärung, welche von Hermann nicht als befriedigend anerkannt wird.

Was nun die Kenntnis der einzelnen Partieen der Grosshirnrinde im Bezug auf die dort localisierten Funktionen betrifft, so interessirt uns vor allem die Localisation, das corticale Centrum für die Gesichtsempfindungeu.

Die klinischen und experimentellen Untersuchungen der letzten Jahre haben übereinstimmend zu dem Ergebnis geführt, dass das Occipitalhirn der Ort sei, wo die Endigung der Opticusfasern stattfindet.

Es dürfte nicht uninteressant sein, auf die Geschichte der Entstehung und des Inhalts der Lehre von der Localisation der Sehfunktion näher einzugehen.

Schon zu Hallers Zeiten, und früher noch, hatten unter den Forschern gewisse Vorstellungen Platz gegriffen, welche auf Centralisirung der Sehfunktion hinzielend, den Sitz der Gesichtsempfindung und der optischen Wahrnehmung nicht im Auge oder doch nicht ausschliesslich dort, sondern an einer bestimmten Stelle im

Gehirn suchten. Jedoch waren alle diese Vorstellungen noch so wenig durchgearbeitet und so wenig befriedigender Art, dass es nicht der Mühe lohnt, auf dieselben in ausführlicherer Weise und in historischer Folge einzugehen. Wir begnügen uns vielmehr damit, in Hallers wenigen Worten von diesen Lokalisationsbestrebungen Kenntnis zu nehmen.

„An diversae diversarum animae funktionum provinciae.“

Cum diversis ex cerebri sedibus nervi visorii, et olfactorii, et acustici et alii proveniant, eorumque nervorum aliqui propriis, et insignibus ex collibus nascantur, potuit probabile videri, in iis cerebri regionibus et tuberibus species rerum et sensationum vestigia potissimum habitare, quae quisque nervus advehere consuevisset, ut in thalamis nervorum opticorum ea conjuncta haererent, quae per oculos advecta essent, vestigia, et eo modo se in aliis nervis haberet . . . .

Poterant etiam experimenta aliqua morbive adduci, qui certis in sedibus residentes, cerebri certos etiam sensus, aut peculiares unice motus adfecissent. A compressis nervis opticis caecitatem . . . . . .

Si peculiari alicui sensui nervus praefectus fuerit, eoden modo is sensus destruitur ab omni cannsa, quae eum nervum compresserit, aut destruxerit: quocunque demum modo, et quacunque in sede nervus fuerit compressus. Idem fict, sie ea causa ipsum cerebrun, compresserit.

Ita a tumoribus nervos opticos comprimentibus caecitas: et a glandula pituitaria turgida: a lapide in nervo optico, aut in glandula pineali: a cerebri vulnere, abscessibus, corruptione aut tumeribus variis: a tumore cerebri aqueo: ab effuso sanquine: a compressis thalamis

opticis: a depresso cranio: a vulneribus capitis et cranii: a nervo optico extenuato et corrupto. —

Nondum tamen velim nimis his theoriis confidere. Experimenta non demonstrant regionem visoriam circa opticum nervum esse, aut sonorum provinciam circa nervi acustici originem: et id unice ostendunt, nervum quemque ex aliqua peculiari sede suas suppetias sententiis et moventis causae habere, quas amittat, quando ea pars male adfecta est.

Deinde filamentum quodque nerveum ab initio ad finem distinctum esse constat, ut sensatio cujuslibet filamenti ab omni alternis filamenti sensatione pura ad cerebrum venire queat.

Porro video, nervos ejusdem organi, ut olfactorium, etiam opticum, late, variis ex cerebri sedibus oriri.....

Hace sic eo modo se habent, non sinet certe, ulla cum veri specie nos definire de complicatis magis animae functionibus, aut in encephalo imaginationi suam sedem, suam sensui communi, suam memoriae adsignare. Ejusmodi hypoteses ab omni tempore plurimae in physiologorum scriptis regnaverunt, pariter debiles, caducae, brevique aevi.

Haller beurtheilte demnach, wie es scheint, die damals vorliegenden, für oder gegen eine Localisation der höheren Funktionen sprechenden Thatsachen sehr vorsichtig und nüchtern. Um so bedeutungsvoller aber müssen demnach auch die von ihm seinen Citaten ausdrücklich hinzugefügten Bemerkungen erscheinen, nämlich dass in einem Falle von Blindheit neben der glandula pinealis ein Theil der Hirnrinde erkrankt war, und ferner, dass Verletzungen des Vorderhauptes, flüchtige oder auch länger andauernde, aber schliesslich doch vorübergehende Blindheit hervorriefen, während eine

Verletzung des Hinterhauptes beständige Blindheit zur Folge hatte.

Erst gegen die Mitte unseres Jahrhunderts erscheinen die Ansichten bezüglich des näheren Sitzes der Sehfunktion geklärter und abgerundeter und zwar war es kein anderer als Johannes Müller, welcher durch seine bahnbrechenden Untersuchungen über die unvollkommene Kreuzung der Sehnervenfasern, sowie durch die Aufstellung des Principes der specifischen Energieen jene Klärung und Abrundung der Anschauungen ermöglichte. Da Johannes Müller selber den ehemaligen durch seine Forschung und Auffassung vertieften Standpunkt der Frage auf das Eingehendste besprochen hat, so folgen wir zweckmässig seiner Darstellung in aller Kürze, einer Darstellung, an deren Spitze wir den schon früher von Magendi, Flourens u. A. in ähnlicher Gestalt ausgesprochenen Satz finden:

„Die einzige constante Folge jeder tieferen Verletzung der Hemisphären ist Blindheit des Auges der entgegengesetzten Seite und Stumpfsinn."

Andererseits bewirken auch „Degenerationen" in den verschiedensten Teilen des Gehirnes, welche nach den Versuchen nicht unmittelbar mit den Centralorganen des Sehsinnes zusammenhängen, gleichwohl oft Blindheit; das darf uns um so weniger wundern, als wir selbst in Rückenmarkskrankheiten, wie bei der Tabes dorsalis öfter Amblyopie erfolgen sahen."

Was zunächst die Kreuzung der Wirkungen betrifft, so erzeugt eben die Verletzung der Hemisphären Blindheit auf der entgegengesetzten Seite. „Aber nach der Theorie sollte durch einen einseitigen Hirnfeler weder eine kreuzende, noch eine gleichseitige Blindheit, sondern halbseitige Lähmung der Markhäute beider Augen, also Halbsehen, erfolgen, indem die linke Sehnervenwurzel

in den linken Teil der Sehnerven beider Augen, die rechte Sehnervenwurzel in den rechten Teil der Sehnerven beider Augen im Chiasma übergeht. Man hat zwar schon öfters Halbsehen als vorübergehendes Symptom beobachtet. Aber bei einseitigen Hirnfehlern kommt nicht Halbsehen, sondern in der Regel Blindheit des einen, oder des anderen, oder beider Augen vor."

Da, wie wir in der Folge sehen werden, die Lehre vom Halbsehen und von der Kreuzung der Sehnervenfasern eine grosse und wichtige Rolle in der Localisationstheorie spielt, so wollen wir hier noch einiges Nähere nach Müllers Darstellung beibringen.

Durch die unvollkomme Kreuzung der Sehnervenfasern erklärt schon 1824 der bekannte Arzt und Physiker Wollaston, welcher selber in Folge einer späteren bei der Sektion nachgewiesenen Thalamuserkrankung vorübergehend an Halbsehen litt, dieses „zuweilen vorkommende Halbsehen, wo nämlich die ganze eine Seite des Sehfeldes in beiden Augen bis zum Mittelpunkt der Augen unthätig wird, und er vermuthet, dass der Hirnteil eines Sehnerven dabei unthätig werde." Ebenso hatte noch Newton in seinen Quaestiones opticae eine Erklärung für das Einfachsehen mit beiden Augen in jener Verteilung der Sehnervenwurzeln erblickt.

Allein Johannes Müller hatte in der Schrift über den Gesichtssin gezeigt, dass, wenn eine solche Theorie die Erscheinungen vollständig erklären sollte, sie die Teilung jeder einzelnen Faser einer Sehnervenwurzel anzunehmen habe, so zwar, dass sich jede einzelne Faser in Chiasma in zwei Zweigen für die identischen Stellen beider Augen teile.

Eine verbesserte Theorie Johannes Müller's berücksichtigt zugleich den Bau des Chiasma: je zwei von

identischen Stellen beider Augen kommende Fasern gehen im Chiasmo in die Sehnervenwurzel einer Seite ein, und hängen entweder durch eine Schleife im Gehirn zusammen, oder entspringen in desmelben Punkt des Sensoriums oder denselben Ganglienkörperchen des Gehirns. „In der linken Hirnhälfte würde das Bild der beiden linken Hälften der Augen, in der rechten Hirnhälfte das der beiden rechten Hälften präsentirt werden.“ Dies wären der Idee nach die Leitungsbahnen bis zu ihren centralen Endigungen.

Den Sitz nun der Empfindung, die Wechselwirkung der Nervenhaut und des Sensoriums beim Sehen, die Empfindung des Zustandes der Nervenhaut, „diesen Teil der Physiologie, sagt Johannes Müller, kann man geradezu metaphisisch nennen, da es zur Zeit an genügenden empirischen Hilfsmitteln zur Aufklärung dieser Wechselwirkung gebricht.“

Zunächst aber scheint durchaus klar einzuleuchten, dass, wenn die Zustände der Teilchen der Nervenhaut erst im Gehirne zur Empfindung kommen, dieselben im Sehnerven bis zum Gehirne in derselben Ordnung geleitet werden müssen, welche die Teilchen der Nervenhaut nebeneinander haben. Jedem kleinsten Teilchen der Nervenhaut muss ein Faser des Sehnerven entsprechen. Hiergegen scheint wiederum die relativ zu geringe Zahl der Sehnervenfasern zu sprechen. Bedenkt man aber, dass die Empfindung nur im mittleren Teile der Netzhaut scharf ist, und nimmt man an, dass nur in der Mitte der Netzhaut die Enden der Fasern dichter liegen, so fällt ein Teil der Schwierigkeiten, die sich dieser Auffassung entgegenstellen, fort.

„Die Empfindung ist in der Mitte der Netzhaut so scharf und auf den Seiten derselben so ganz unbestimmt, als wenn in der Mitte der Netzhaut einzelnen kleinen

Teilchen der Bilder die Enden einzelner Fasern, an den Seiten vielen kleinen Teilchen der Bilder nur eine Faser entsprächen, und als wenn hier eine Faser in einiger Länge den Eindrücken ausgesetzt wäre, während sie in der Mitte der Netzhaut nur durch ihr punktförmiges Ende empfindet."

Wie würde aber eine Faser die Veränderungen ganzer Reihen von Raumteilchen in ihrer Länge bis zum Sensorium leiten können, wenn im Sensorium erst die Empfindung, der Ort entstehen soll? Findet die Präsentation der Empfindungen nur im Gehirne durch die Enden der Nervenfasern statt, so kann eine Faser auch alle Affectionen in aliquoten Teilen ihrer Länge nur in einem Punkte präsentiren. Fände hingegen die Empfindung verschiedener Orte an aliquoten Teilen der Länge einer Faser statt, so müsste man sich die Seele als in einem jedem Teilchen der Länge einer Faser wirkend vorstellen, wogegen für die Rückenmarksnerven die Erfahrungen über die Empfindungen der Amputirten sprechen. „Diese Schwierigkeit liesse sich durch die Supposition heben, dass die höheren Sinnesnerven verschieden von anderen Nerven näher an dem Wirken der Seele participieren, so dass die Seele bis in die Nervenenden der Retina fortwirke, indem die Sinnesnerven nur Fortsätze des Sensoriums sind"

„Wie sich das auch verhalten mag, so ist es jedenfalls gewiss, dass auch nach Verlust der Retina und des äusseren Teiles der Sehnerven die inneren oder Hirnteile des Sehsinnes nicht bloss Empfindungen von Licht, sondern selbst dieselben Anschauungen von einem Sehfelde, in welchem Bilder gesehen werden, hervorbringen können.

Hieraus scheint hervorzugehen, dass die Affectionen der Nervenfasern des Sehnerven erst im Gehirn selbst zur Construction eines Sehraumes verwandt werden, und

eine Consequenz davon wäre wieder, dass die ganze Mosaik der Retina durch eine Anzahl übereinstimmender Nervenfasern im Sensorium repräsentirt werde, was durch die Erfahrung wohl nachweisbar ist.“

Der Process der Wechselwirkung zwischen den Endteilen des Sehapperates und den Centralteilen desselben ist daher noch sehr unklar, und wir können nur bei dem Faktum stehen bleiben, dass alle Ordnung des Geschenen im Sehfelde von der Ordnung der afficierten Netzhautteilchen abhängt.“

Soweit Johannes Müller. Was nun den Fortschritt in der darauffolgenden Jahre anlangte, so verhielten sich die Pathologen sehr sceptisch gegen die Lehre von der auf die Semidecussation begründeten Hemianopsie, und erst Albrecht v. Gräfe gelang es durch seine geistreiche Arbeit vom Jahre 1856 einen Umschwung herbeizuführen und die Aerzte so fest von der Semidecussation zu überzeugen, dass einzelne widersprechende Stimmen fast ungehört verhallten.

Was aber die Localisationstheorie im Speciellen in der Mitte der sechziger Jahre betrifft, so haben wir zunächst der Loys'schen Ansichten zu gedenken, welche, anfänglich nur durch wenige Thatsachen gestützt, doch allmählich zu einer gewissen Geltung gelangten.

Luys fasste die Sehhügel auf „als Zwischenstationen zwischen einfachen, spinalen Erregungen und Aeusserungen des psychischen Lebens.“

Ihre gesonderten von einander unabhängigen, grauen Kerne bewirken gleichsam eine Verdichtung der besonderen sensoriellen Eindrücke, und hier die einzigen Einlasspforten für alle von Aussen kommenden Reize, die den Zellen der Hirnrinde als Pabulum vitae dienen sollten, sie sind das alleinige Kommunicationsmittel, mittels dessen die Laboratorien der psychischen Thätigkeit mit

der Aussenwelt in Wechselwirkung treten können. Jeder graue Kern des Thalamus steht mit besonderen Feldern der Hirnrinde in näherer Beziehung. „Damit ist klar dargethan, dass in den verschieden Regionen der Hirnrinde einzelne von einander unabhängige Felder unterschieden werden können, die als Aufnahmsstätten dieser oder jener Orte sensorieller Eindrücke fungiren.“ Eine genauere und den philosophischen Beobachtungsthatsachen „vorläufig gerecht werdende Theorie des centralen Sehaktes“ stellte sodann im Jahre 1868 Hr. W. Wundt auf.

Die Fortsetzungen der Opticusfasern strahlen nach Wundt's Hypothese direkt in die Grosshirnhemisphären aus, finden hier wohl in den Nervenkörpern der Hirnrinde ihr definitives Ende, und treten zugleich irgendwie mit den motorischen Endigungen wieder in Zusammenhang.

Die enorme Zahl, und die regelmässige Schichtung jener Nervenkörper forderte fast dazu heraus, die Hypothese, welche den Bau der Retina und des Cortischen Organes für die peripherische Licht- und Schallperception an die Hand gab, auf den centralen Perceptionsvorgang auszudehnen. Wir werden also annehmen, dass durch jede qualitativ verschiedene Erregung auch verschiedene Elementargebilde des Centralorgans oder verschiedene Gruppen solcher Elementargebilde erregt werden. Einer Summe differenter peripherischer Eindrücke wird also eine Summe differenter Empfindungssignale korrespondieren. Jeder Eingriff in eines jener die Sehfunction vermittelnden Nervengebilde muss den Sehact stören. Bei nur stellenweiser Trennung des Zusammenhanges wird die Erregung, wie im Rückenmarke, andere Bahnen einschlagen, es werden andere Verknüpfungen zwischen den peripherischen Vorgängen und centralen

Signalen sich bilden müssen, aber wenn erst die neuen Verbindungen eingeübt sind, so werden die Funktionen, falls nur der Eingriff nicht zu umfangreich war, wieder ungestört von stattten gehen.

Anders werden sich freilich die Erscheinungen gestalten müssen, wenn grössere Massen jener centralen Gebilde, in welchen ein bestimmtes Nervengebiet endigt, verloren gehen. Hier wird entweder complete Aufhebung oder äusserste Beschränkung der Function die Folge sein."

Wohl selten ist eine Theorie, wie diese Wundt'sche, so unmittelbar vorausgegangen einer Fülle neuer, bahnbrechender Thatsachen, nach deren Erkenntnis sie aber ebensogut hätte aufgestellt werden können, Thatsachen, deren Bestehen sie also als wahre Theorie z. T. zutreffend voraussagte, so zutreffend, dass jede spätere Theorie sich insoweit ihr eng anzuschliessen hat.

Inzwischen hat die feinere Gehirnanatomie den Verlauf der Sehnervenfasern im Gehirne besser zu verfolgen gewusst. Schon in den fünfziger Jahren hatte R. Wagner gefunden, dass der Opticus wenigstens zum Teil in Verbindung mit den multipolaren Ganglienzellen der Kniehöcker tritt; auch hatte dieser Forscher nachgewiesen, dass von den Vierhügeln aus die Opticusfasern mit den Ursprungszellen der Oculomotoriusfasern und mit der medulla oblongata durch die Schleife in Verbindung stehen. Endlich lies auch Wagner, wie schon früher von anderen behauptet worden war, einen grosser Teil der Opticusfasern in die Ganglienzellen der Sehhügel sich einsenken.

„Von diesen letzteren, sagt Funke, fällt höchstwahrscheinlich eines der wichtigsten Commissurenfasersysteme für den Opticus ab, Fasern nämlich, welche nach aussen verlaufend zu der grauen Substanz an die Windungen des grossen Hirnes gehen, und so die von

den peripherischen Enden der Retinafasern empfangenen Eindruck schliesslich dem grossen Gehirn zur letzten Phase der Innervation mitteilen, um in den Kreis seelischer Wahrnehmung als vollendete Gesichtsvorstellung zu gelangen.“

Die rindenwärts aufsteigende Verbindung, die von Wagner, Wundt u. A. nur vermutet wurde, haben, wie allbekannt, Gratiolet am Affengehirne und Meynert im Menschengehirne wirklich aufgefunden. Sie nahmen wahr, dass die Rinde des Hinterhauptes und Schläfenlappens mit Fasern aus den Ganglien zusammenhängt, mit denen sich der tractus opticus verbindet, und zwar entspringt nach Meynert der tractus opticus aus den beiden Kniehöckern, aus den Vierhügeln und aus dem Pulvirnar des Sehhügels.

Dies etwa war der Stand von Forschung und Theorie, als Ende Juli 1874 E. Hitzig die wichtige Entdeckung hinzufügte, dass man auf experimentellem Wege beim Hunde, und zwar durch Abtragungen im Bereiche eines Hinterlappens Blindheit des gegenüberliegenden Auges und prolytische Dilatation der entsprechenden Pupille hervorbringen kann. „Die Erscheinungen der halbseitigen Blindheit, sagt Hitzig, sind so charakteristisch, dass ein Irrtum darüber unmöglich ist. Andrerseits entstehen bei dieser Methode leicht Nebenverletzungen, deren Einfluss ich noch nicht recht habe feststellen können. Jedoch wird die Annahme, dass es sich hierbei um die Grosshirnhemisphäre selbst handelt, durch die Beobachtung unterstützt, dass Reizung der gleichen Stelle eine starke und anhaltende Verengung der Puppille nach sich zieht.“ Die Tiefe der Abtragung giebt Hitzig in einer Stelle als mindestens 4 mm betragend an.

Sehr bald nach Hitzig hatte auch Ferrier durch electrische Reizversuche an der Rinde des Grosshirnes beim Affen Bewegungen des gekreuzten Auges und Beeinflussung des Puppillenstandes erhalten und durch Zerstörung dieser Stelle (Gyrus angularis) mittels des Galvanocauters eine vollständige, aber vorübergehende „Blindheit" an diesem gegenüberliegenden Auge erzielt.

Ferrier nannte deshalb diese Stelle „das Sehcentrum". Entsprechende Ergebnisse erzielte er auch bei der Katze, dem Hunde, und dem Kaninchen.

Endlich hatte auch Schön bereits 1874 ein Rindencentrum für das Sehorgan angenommen, als dessen wahrscheinlichen Sitz der Gyrus postcentralis bezeichnet und einzelnen Formen von Hemianopsieen ausdrücklich als Cortex hemiopie von Läsion dieser Rindenpartie abgeleitet.

Im Jahre 1876 brachte H. Goltz seine erste Mitteilung „über die Verrichtungen des Grosshirnes." Dieser ausgezeichnete Forscher hatte von vornherein die Bedeutung erkannt, welche in der Aufdeckung der Gehirnfunctionen zunächst namentlich Ausrottungen ausgedehnter Abschnitte des grossen Gehirnes zukommen müssen. So entdeckte derselbe, „dass nach erheblicher Verstümmlung des Grosshirns auf einer Seite immer das Sehvermögen auf dem Auge der entgegengesetzten Seite eine merkwürdige Einbusse erfährt." Trat infolge eines solchen Eingriffes Blindheit der gekreuzten Augen auf, die anänglich auch eine vollständige sein konnte, so kehrt doch immer wieder das Sehvermögen zurück: das Tier konnte das Hinderniss mit grossem Geschicke umgehen, war also nicht blind, gleichwohl nahm es Fleisch nicht wahr, hatte die Schätzung der Tiefe verloren, erschrack nicht mehr beim Anblick furchterregender Gegenstände. Es war also durch die Goltz'sche Entdeckung der alte Satz

von einer gekreuzten „Blindheit“ welche einer tieferen Hemisphärenverletzung oder Abtragung (Magendie, Flourens, Serres u. A.) folgen sollte, in den Satz von einer gekreuzten „Sehschwäche sui generis“ umgewandelt werden.

Ein genaues Gegenstück zu seiner an Hunden gemachten Beobachtung bildet nach Goltz die von Lussana und Lemoigne gemachte Beobachtung an einer Taube, welcher die ganze linke Hälfte des Grosshirns und das linke Auge ausgeschnitten worden war: das Tier verstand es vortrefflich, bei seinen Bewegungen Hindernissen auszubiegen, sah aber vorgeworfenes Futter nicht, und geriet nicht in Furcht beim Anblick drohender Geberden. Lussana und Lemoigne erklärten diesen merkwürdigen Zustand durch die Annahme, dass die hinter dem Grosshirn liegenden Centralorgane für die Fortbewegung durch die Eindrücke, welche sie vom unverletzten Auge empfangen, richtig reguliert werden, so dass das Tier rein maschienenmässig den Hindernissen aus dem Wege geht. Nach dieser Ansicht würde ein solches Tier also ohne Bewusstsein sehen. Es würde die Netzhautbilder zweckmässig verwerten und doch keine bewusste Lichtempfindung haben. Nun hatte aber Goltz bereits 2 Jahre zuvor in seinen „Beiträgen zur Lehre von den Funktionen der Nervencentren des Frosches dargethan, dass die Fähigkeit bei der Fortbewegung des Körpers mit Benutzung der Augen Hindernisse zu vermeiden, eine Funktion der Hirnteile ist, welche hinter dem grossen Gehirn liegen. Derselbe hatte also, zunächst freilich nur an Fröschen die Angaben der älteren Forscher widerlegt, wonach die des Grosshirns beraubten Tiere vollständig erblinden (Flourens), oder zwar noch Gesichseindrücke empfinden, dieselben aber nicht mehr für zweckmässiges Handeln zu verwerten wissen (Longet).

So musste Goltz der Ansicht von Lussana und Lemoigne beitsimmen, nur konnte er die Erklärung für die von ihm an einseitig enthirnten Hunden beobachteten Erscheinungen für nicht zureichend ansehen, weil er überzeugt war, dass bei Hunden jede Halbkugel des Grosshirns mit beiden Augen in Verbindung steht.

Es liegt in der Natur der Sache, dass jede Vorstellung die wir uns von dem Empfinden eines anderen machen, eine Hypothese bleiben muss. „So ist es also auch nur eine Hypothese, sagt Goltz, wenn ich es ausspreche, wie etwa die Gesichtsempfindungen beschaffen sein mögen, die ein Hund auf dem rechten Auge hat, nachdem ihm die linke Hälfte des Grosshirns längere Zeit zuvor vernichtet wurde."

Goltz stellt sich nun zunächst vor, dass solcher Hund einen ausserordentlich geringen Farbensinn und auch einen sehr verschlechterten Ortssinn der Netzhaut besitzt, und dass er alles grau in grau und verwaschen, wie in Nebel gehüllt sieht: Er erkennt nicht mehr einePeitsche als Peitsche, eine Person nicht mehr als ein bestimmtes Individium, weil die Anschauungsbilder, die er empfängt verwaschen und farblos nicht entfernt mehr den Erinnerungsbildern gleichen. Dagegen nimmt er die Bewegung von Körpern ganz gut wahr. „Auch bleibt sein bewusstes Empfinden in Einklang mit dem maschinenmässigen Handeln der unteren Centralorgane, wenn er beim Gehen Hindernisse vermeidet. Denn er unterscheidet die im Wege stehenden Körper von ihrer Umgebung hinreichend durch die wechselnde Lichtstärke an den Grenzen, wenn er auch die Einzelheiten in der Natur der Körper nicht wiedererkennt. So können wir ja auch in ziemlich dichtem Nebel, wenn wir langsam gehen, vorwärts kommen, ohne anzustossen."

In einer zweiten Mitteilung berichtete Goltz über die Sehstörungen solcher Hunde, welchen die graue Rinde beider Grosshirnlappen mittels Brunnenwassers herausgespült worden war. War der Verlust an grauer Substanz auf beiden Seiten ein sehr beträchtlicher, so schienen die Tiere vollständig blind zu sein und zu bleiben. Es gelang dann nicht mit Sicherheit, eine Wiederkehr der Lichtempfindung nachzuweisen. Bei Hunden dagegen, welchen nur ein mässiger Teil der grauen Rinde beider Grosshirnlappen herausgespült worden, zeigte sich keine so tiefe, aber immer eine deutlich ausgeprägte Sehstörung. Solche laufen oder gehen allen Hindernissen mit Sicherheit ausbiegend im Zimmer herum, erkennen Menschen und Hunde aus grösserer Entfernung, äussern Furcht, wenn sie von Weitem mit der Peitsche bedroht werden, scheinen also ein völlig normales Sehvermögeu zu besitzen. Allein die nähere Untersuchung ergiebt, dass sie Nahrungsmittel mit dem Auge nicht mehr erkennen, wenn diese Ihnen an ungewöhnlicher Stelle dargeboten werden. Sie rennen sogar grobe Drahtgitter wiederholt an, während sie, gegen ein Brett gelockt, vor demselben angelangt, unmittelbar Kehrt machen.

Diese Sehstöhrung ist nach Goltz als bleibende Ausfallserscheinung zu betrachten; sie bestehe in einem Verlust von Funktionen, welche die Hirnteile besassen, die durch den operativen Eingriff vernichtet wurden Weiterhin gelang es aber auch Goltz bei einem Hunde mit sehr grossem Substanzverlust beider Hälften des Grosshirns nach anfänglicher vollständiger Blindheit die Rückkehr des Sehvermögens zu beobachten. Zwar war das Tier durch keinen Anblick zu irgend einer Aeusserung von Teilnahme, Freude, Ueberraschung, Unbehagen oder Furcht zu bringen; allein es trug den Kopf nicht so,

wie stockblinde Hunde ihn tragen, auch schien ihm die andauernde Beleuchtung der Netzhaut unangenehm zu sein. Folgender Versuch bewies aber ganz entschieden, dass der Hund sah. Goltz hatte bemerkt, dass wenn der Hund hungrig war, derselbe im Zimmer umherging, dabei meistens regelmässig grosse Kreise beschrieb, und grossen Hindernissen aus dem Wege ging, Um dies zu prüfen wurde ihm auf seinem Rundgange ein breites Brett in den Weg gestellt. Er änderte alsbald die Richtung seiner Schritte und vermied das Brett.

„Der Versuch wurde sehr oft angestellt, und jeder der Beobachter gewann die Ueberzeugung, dass die Gangbewegung des Hundes durch die empfangenen Netzhautbilder reguliert werden. Er geht also ähnlich, wie ein Schlafwandler. Was er sieht bringt in ihm keine Gemütsbewegung hervor, aber er versteht es Hindernisse zu umgehen.“

„Sehr kennzeichnend für die Art und Weise, wie er sieht, ist auch die Thatsache, dass er oft den dunkelschwarzen Schatten auf dem Fussboden vermeidet, wenn die Umgebung durch die Sonne hell beleuchtet ist.“

Wenn so sich Hunde mit einem grossen doppelseitigen Substanzverlust des Grosshirns u. A. auch durch „Hirnsehschwäche“ dauernd von normalen Tieren unterscheiden, so fragt sich doch noch und bleibt doch noch zu erforschen, „wieviel von den geschilderten Störungen auf Verletzungen der grauen Rinde, wieviel auf Verletzung der weissen Substanz und wieviel endlich vielleicht auf nicht beabsichtigte, teilweise Mitbeschädigung des Streifenkörpers und des Sehhügels zu beziehen ist.“ Unter Goltz Beobachtungen „spricht für eine Localisation der Grosshirnfunktion nur die Erfahrung, dass Tiere mit Verlust der Hinterhauptlappen weniger stumpfe Empfindungen, keine Plumpheit der Bewegungen, dagegen

dauernd eine erheblichere Sehstörung zeigen als andere Hunde, welche eine gleichgrosse Verletzung beider Scheitellappen erlitten."

Wenn Goltz einerseits zugiebt, dass Verletzungen des Hinterhauptlappens gegenüber denen des Scheitellappens eine tiefere dauernde Sehstörung zur Folge haben, so zeigte er andererseits, dass auch Verletzungen im Bereiche des Stirn- und Scheitellappens Sehstörungen hervorrufen können, dass also die letzteren nicht, wie aus Hitzig's und Ferrier's Versuchen hervorzugehen schien, an die Verletzung des Hinterhauptlappens allein gebunden sind. Neuerdings hat sich indessen Hitzig der Ansicht von Goltz ebenfalls zugewendet.

Was nun das Umhergehen der Tiere nach Abtragung der Hirnhemisphären anlangt, so beobachtete Christiani, dass die Tiere Hindernissen, z. B. Tischfüssen ausweichen, ohne dieselben zu berühren; sie machten ohne objectiv nachweisbaren Grund mitten in der Bewegung halt, sie erkletterten und ersprangen Anhöhen u. s. w.

Weiter berichtet er, dass enthirnte Kaninchen einerseits merklich überempfindlich sind, andererseits schnell ermüden. Es sei also nicht zu verwundern, dass sie, wenn sie dabei noch gereizt werden, nicht unter allen Umständen und jedesmal Hindernissen so geschickt ausweichen, und solche so elegant überwinden, wie ich es unzweifelhaft, und in Gegenwart von glaubwürdigsten Zeugen wiederholt beobachtet habe, und zwar eben im Ganzen so häufig und unter so überzeugenden Umständen, dass ich mich, ich sage nicht zu dem „Schlusse," sondern zu den „Aussagen" berechtigt sah und noch sehe: enthirnte Kaninchen können Hindernissen ausweichen auch ohne dass der Zufall sein Spiel treibt, und auch ohne dass sie dieselben berühren; sie können Anhöhen erspringen und erklettern,

auch ohne zu stolpern u. s. w. Dem gegenüber behauptet Munk, dass trotz Christiani, des Grosshirns beraubte niedere Säugetiere „vollkommen blind“ sind. Er führte seinen Beweis folgendermassen:

„Die enthirnten Kaninchen, Meerschweinchen, Ratten, zeigen wohl die Puppillenreflexe nicht merklich anders als in der Norm; sonst aber werden sie durch Licht in keiner Form und keiner Weise mehr beeinflusst. Und wenn die Tiere sich bewegen, so stossen sie an alle Hindernisse auf ihrem Wege an, gehen geradezu in die Objecte hinein, streben an der glatten Zimmerwand in die Höhe, falllen vom Tische, u. d. m. Auch bei den niederen Säugetieren ist also mit dem Verluste des Grosshirns die völlige Einbuse der Gesichtssinne verbunden. Und das stellte sich im Grunde auch als das Ergebnis heraus, welches alle die früheren Untersuchungen bis auf die neueste Zeit ganz gleichmässig geliefert haben. Um über das Sehen der Tiere zu entscheiden, bietet sich noch ein ganz einfaches Hilfsmittel dar, dass man neben unseren bisherigen Versuchstieren solche prüfte, welchen man nach der Enthirnung noch die Augen eröffnet und den Augeninhalt entleert hat. Vom Puppillenreflexe abgesehen zeigen beiderlei Tiere nicht den mindesten Unterschied in ihrem Verhalten. Auch daran ist nicht zu denken, dass unsere enthirnten Säugetiere, hätten sie länger gelebt, nach mehreren Tagen oder nach Wochen doch noch Reste des Gesichtssinnes würden haben erkennen lassen. Es sind deshalb, wie bei den höheren Säugetieren und den Vögeln, so auch bei den niederen Säugethieren alle centralen Vorgänge des Gesichtssinnes an das Grosshirn geknüpft.“

Das Ausweichen der Tiere vor Hindernissen erklärt Munk dahin, dass er sagt: „Bei mässigen Bewegungen

kommt es hin und wieder vor, dass die Tiere, wenn sie in die Mitte des Zimmers gesetzt waren, nicht an die Wand und die dort befindlichen Schränke etc. geraten, sondern, natürlich in Absätzen, mehr oder weniger regelmässige Kreise inmitten des Zimmers beschreiben (immer wieder in ungefähr derselben Weise) und dabei (wenn nur spärliche Objecte in der Nähe sich befinden, zumal von so geringer Breite, wie Tischfüsse) wiederholt an den Objecten vorüberkommen, ohne dass sie ihr Weg in Berührung mit den Objecten bringt. (So habe ich Kaninchen die Füsse eines in Mitte des Zimmers befindlichen Tisches, die einen male alle 4 Füsse die andern male nur 2 Füsse manchmal sogar zuerst die einen und dann die andern 2 Füsse, wiederholt umkreisen sehen ohne anzustossen) So habe ich ein Kaninchen zu Anfang des Laufstadiums 2 Stunden lang rings um eine ansehnliche Kiste herumlaufen sehen, in $^1/_2$—$1^1/_2$ Fuss Entfernung von ihr ohne je die Kiste zu berühren, u. d. m.“

In folgendem soll nur versucht werden, zu zeigen, dass es Tieren, welche des Sehvermögens vollständig beraubt sind, dennoch möglich ist, entgegengestellten Hindernissen aus dem Wege zu gehen.

Am besten schienen mir dazu Katzen zu dienen, welche ja wie bekannt, sich im dunklen Raume mit grosser Sicherheit zu bewegen verstehen. Zu diesem Behuf wurden einer erwachsenen Katze mit einem Pechpflaster so vollständig die Augen bedeckt, dass sie absolut nichts sehen konnte. Hiebei war jedoch nicht zu vermeiden, dass ein Teil der Schnurrhaare des Tieres mitangeklebt wurden. Die Katze geberdete sich zuerst sehr unruhig, gewöhnte sich jedoch bald an diese unbequeme Bedeckung. Zum Gehen veranlasst, stiess sie sehr oft an kleinere Gegenstände, wie Tischbeine etc·

an; sobald sie jedoch in die Nähe der Wand kam, blieb sie eine kleine Strecke (ungefähr 10—20 cm) davor stehen, spitzte die Ohren, und machte dann Kehrt, oder sie machte gleich Kehrt und lief an der Wand entlang. Da das Tier indessen augenscheinlich durch das Pechpflaster sehr in Anspruch genommen wurde und oft in Aufregung und Unwillen umherrannte, also ohne alle Vorsicht, so wählte ich mir ein anderes Tier, und vollzog an demselben die Enucleation beider Bulbi. Den angelegten Occlusivverband sträubte es sich zu tragen und riss ihn trotz aller Vorsichtsmassregeln immer wieder ab. Ich stopfte daher die Orbitae mit Jodoformgaze aus und verschloss jedes Lid durch eine einzige Naht, worauf sich das Tier vollständig beruhigte, so dass ich kurz darauf meine weiteren Versuche mit ihm anstellen konnte. Dabei zeigte sich nun folgendes: Wurde das Tier zum Gehen veranlasst, so lief es langsam und vorsichtig, aber mit derselben Haltung wie ein normales Tier, weiter und vermied dabei mit grossem Geschicke die zahlreich im Zimmer umherstehenden Gegenstände (Tischbeine, Stühle, Kisten, Glasscheiben, Drahtgitter etc) fast regelmässig. Vor der Wand machte es immer ungefähr 30 ctm entfernt halt, erhob den Kopf, spitzte die Ohren, und wich dann nach der Seite aus. Vor den kleinen Gegenständen machte es stets einige cm. entfernt eine seitliche Wendung, und es war sehr deutlich zu sehen, dass es mit den Spitzen seiner Schnurrhaare ganz feine Fühlung der Gegenstände hatte. Wurde es gegen Objecte getrieben, welche sich in einiger Höhe vom Boden befanden, so dass sie von den Schnurrhaaren nicht mehr berührt werden konnten, so sties es an, bückte sich dann sofort und kroch unten durch. Wurde ihm auf seinem Gange ein Gegenstand entgegengehalten (Glas- oder Holzplatten),

so wich es ungefähr 20 cm davor entfernt sofort nach der Seite aus, auch wenn die Gegenstände so langsam und vorsichtig entgegengehalten wurden, dass es nicht der Luftzug sein konnte, welcher das Tier von der Nähe eines Gegenstandes in Kenntnis setzen konnte.

Selbst wenn man ihm nach der Wendung, die es gemacht, immer wieder neue Gegenstände vorhielt, wich es immer wieder aus, entweder indem es die Gegenstände mit den Spitzen der Schnurrhaare zuerst berührte, oder meistens schon, ohne sie berührt zu haben.

Ferner wurden folgende Versuche gemacht: Wenn das Tier ruhig sass, so wurde ihm in einiger Entfernung das Futter hingestellt, und zwar so, dass es das Geräusch des niedergesetzten Topfes hören konnte. Das Tier erhob sich dann sofort, ging direct auf das Futter zu, und fand, wie ganz unzweideutig zu erkennen war, unter Leitung seiner Schnurrhaare den Topf und zwar wie ein normales Tier auch sofort die Mitte desselben. Wurde es weggenommen und zur Seite gesetzt, so geschah dasselbe.

Weiter wurde es in eine Umzäunung gebracht, welche bestand aus 2 Brettern, einer Glasscheibe und einem Drathgitter; es machte von seinem Sitze aus nach allen Seiten Bewegungen, und ging dann direct auf eine Lücke zu, welche auf einer Seite gelassen war, und aus seiner Umzäunung hinaus. Um zu sehen, ob es nicht Zufall war, wurde der Versuch wiederholt und auf der entgegengesetzten Seite ein Ausgang frei gelassen. Das Tier tastet sich an den Gegenständen entlang mit seinen Schnurrhaaren und findet den Ausgang. Im folgenden Versuche wurden nun in kurzer Entfernung vom Ausgang ein Drahtgitter aufgestellt; diesem wich das Tier sofort aus, als es die Umzäunung verliess, und zwar konnte man nicht wahrnehmen, dass

es ihn schon wirklich mit seinen Schnurrhaaren berührt hatte. Es wurde nun die ganze Umzäunung vollständig geschlossen; das Tier erkletterte mit Sicherheit die Drahtwand und sprang auf der anderen Seite auf den Boden, ganz wie ein normales Tier; wurde ihm ein Gegenstand davorgestellt, so trat es erst auf diesen über und von da auf den Boden. Wurde es auf einen niederen Gegenstand gebracht, so tastete es einige Zeit mit den Pfoten und mit dem Kopfe in die Tiefe und sprang dann in kurzem Bogen sicher zu Boden. Wurde es dagegen auf einen hohen Gegenstand gebracht, und zwar unter Manipulationen, dass es nicht merken konnte ob es hoch oder nicht hoch gehoben sei, so war es viel schwieriger, es zum Abspringen zu bewegen. Es fing dann an missmutig zu suchen, und sprang endlich in grösserem Bogen mit Sicherheit zu Boden. Es musste sich also wohl bewusst sein, dass die Tiefe hier grösser sei als im anderen Falle.

Um nun auch ein Urtheil über das Tier zu hören, von jemand der von dessen Enucleation nichts wusste, wurde ein College aufgefordert, zu sehen, ob er glaube dass das Tier sehe oder nicht. Er bemerkte sofort nach den ersten Versuchen: es sei auffallend, dass das Tier allen Gegenständen ausweiche. Darauf wurde es auf einen Tisch gesetzt, vor dem in geringer Entfernung ein niedrigerer gestellt wurde. Es tastete mit dem Kopfe in die Tiefe, wobei es nur ganz gering mit den Schnurrhaaren den tiefer stehenden Tisch fühlte, worauf es sofort auf denselben überstieg. Der beobachtende College erklärte: das könne das Tier nur durch das Gesicht gemerkt haben. Als dann endlich auch die Versuche in der Umzäunung wiederholt wurden, kam er zu der Ansicht: das Tier müsse noch sehen und war sehr erstaunt, als ihm nun gesagt wurde, dass das Tier

gar keine Augen mehr habe. In weiteren Versuchen wurden nun dem Tiere die Schnurrhaare auf der rechten Seite abgeschnitten; daraufhin kam es öfters vor, dass es Gegegenständen, die rechts lagen, nicht mehr so geschickt auswich und öfters an dieselben anstiess.

Als ihm nun sämmtliche Schnurrhaare abgeschnitten waren, da war das Tier nur schwer zum Gehen zu bewegen, gleichsam als sei es sich bewusst, dass es nun seiner sichersten Führungsmittel beraubt sei, und stiess beim Umherlaufen an alle Gegenstände, die ihm in den Weg kamen und selbst an die Wand, wenn es stark gehetzt wurde; war es dagegen sich selbst überlassen und gieng spontan auf die Wand zu, so vermied es dieselbe auch dann noch, und machte kurz vor derselben eine Wendung. Wurde ihm jetzt der Futtertrog vorgesetzt, so gelang es ihm erst dann, dessen Mitte zu finden, nachdem es zuvor mehreremale mit seiner Schnauze an den Rand des Gefässes gestossen war, oder dasselbe ganz verfehlt hatte. Es war also unzweifelhaft, dass es früher die Gegenstände nur durch das Gefühl der Schnurrhaare vermieden, resp. gefunden hatte.

Aehnliche Versuche, welche ich mit Kaninchen anstellte, führten wegen der Kürze der Beobachtungszeit zu keinem Resultate, da die Tiere sich zu träge benahmen und fast gar nicht zu längerem Laufen zu bewegen waren. Dagegen erinnere ich mich eines Falles, in dem ein Kaninchen, das durch Zufall beide Augen verloren hatte, über ein Jahr sich im Stalle herumtrieb; als ihm aber einmal aus Spass die Schnurrhaare abgeschnitten wurden, war es am andern Morgen schon ertreten!

Endlich möchte ich hier noch einer Beobachtung Erwähnung thun, welche ein Bekannter von mir, welcher an Hemeralopie leidet, an sich gemacht hat, resp. hat

machen lassen. Es ist ihm nämlich fast immer möglich, Gegenstände die er des Nachts nicht sieht, zu erkennen, wenn er sich noch in einiger Entfernung von ihnen befindet, und zwar auch dann noch, wenn er nicht etwa durch den kürzer gedämpften Schall seiner Schritte darauf aufmerksam gemacht wird, dass er sich einem Gegenstande nähert. So stellte ihn einmal sein Freund, welcher ihn im Dunkeln kommen sah, folgendermassen auf die Probe: Er blieb in einiger Entfernung stehen, und streckte ihm, der von seiner Nähe keine Ahnung hatte, das Bein quer über das Trottoir entgegen: allein bevor er über dasselbe stolpern konnte, ungefähr einen Schritt davor, machte er plötzlich halt, indem er zurückzuckte; das Bein hatte er jedoch nicht gesehen. Es findet hier also dasselbe statt wie bei der Katze, welche Gegenstände vermeidet, welche sie nicht berührt hat. Man könnte sagen es sei dies reiner Zufall: allein es geschieht so oft, und so deutlich, dass man nicht anders glauben kann, als dass das Tier mit Absicht ausweiche. Uebrigens geht eine Katze so leise, dass sie durch den Schall ihrer Tritte kaum auf die Nähe eines Gegenstandes aufmerksam gemacht werden könnte. Wir müssen vielmehr annehmen, dass es infolge des äusserst feinen Tastgefühles der Katze und ebenso beim Hemeralopen (wissen wir doch, dass wenn einer unserer Sinne verkümmert oder unvollkommen ist, ein anderer wieder um so besser ausgebildet ist) ermöglicht wird, Gegenstände zu fühlen. Dies könnte man sich so zu erklären versuchen dass man annähme, die veränderte Wärmestrahlung deute die Nähe eines Gegenstandes an, oder auch der veränderte Luftdruck. Jedenfalls dürften diese Versuche zeigen, dass die Beobachtungen Christinis u. a. nicht beweiskräftig, sondern hinfällig sind.